

MRIを用いた左心房内渦流の可視化に関する研究 -MRIによる渦流計画の妥当性及び計測断面設定に関する臨床研究-

著者	柴田 宗一
号	78
学位授与番号	2609
URL	http://hdl.handle.net/10097/45835

氏 名（本籍）
柴^{しば} 田^た 宗^{むね} 一^{いち}

学 位 の 種 類
博 士（医 学）

学 位 記 番 号
医 博 第 2 6 0 9 号

学位授与年月日
平 成 20 年 9 月 10 日

学位授与の条件
学位規則第 4 条第 1 項該当

研 究 科 専 攻
東北大学大学院医学系研究科
（博士課程）医科学専攻

学 位 論 文 題 目
MRI を用いた左心房内渦流の可視化に関する研究－MRI による渦流計測の妥当性及び計測断面設定に関する臨床研究－

（主 査）

論文審査委員
教授 山 家 智 之 教授 田 林 暁 一

教授 高 橋 昭 喜

論文内容要旨

【背景】

これまでの研究により左心房内に渦流が存在することが知られている。左心房内渦流の臨床的意義はまだ不明であるが、渦流の変化が局所における左心房壁せん断応力に変化を与え、左心房の形態学的、電気生理学的変化を引き起こす可能性がある。近年 Magnetic Resonance Imaging (MRI) を用いることにより、任意の計測断面における血流状態や血流速度を測定することが可能である。数値流体力学の急速な発達に伴い、心エコーや MRI などの画像データを利用した、3次元における心内腔内血流シミュレーション解析も盛んに行われている。しかし、これまでに左心房内渦流の成因に関するシミュレーションモデルでの解析や、MRI を用いた簡便な左心房渦流観察法に関する研究はこれまでに報告されていない。

【目的】

本研究の目的は、数値流体力学にもとづき3次元における左心房内血流を再現するシミュレーションモデルを作成することと、シミュレーションモデルと Phase Contrast 法 (PC 法) を用いた MRI 血流計測結果を統合して MRI にて簡便に左心房内血流を観察する方法を考案することである。

【方法】

正常心の MRI 画像データを利用して3次元左心房モデルを作成し、数値流体力学を用いて、3次元左心房内渦流を再現した。得られたモデルの妥当性検証のため、左心房内血流を示す流線と PC 法を用いた左心房内血流速度計測にて観察された左心房内渦流を視覚的に比較した。更にシミュレーションから得られる肺静脈および僧帽弁レベルにおける血流速度変化について比較を行った。シミュレーションデータから得られる血流速度分布、壁せん断応力分布をもとに、左心房内渦流を観察する2次元断面を設定した。断面選択に対する妥当性の検証のため、正常心6例に対し計測を行った。また左心房内における血流速度標準偏差分布を用いて、測定精度を左右する因子の検討も行った。

【結果】

3次元左心房モデルを作成し、数値シミュレーションを用いて3次元における左心房内渦流を再現し得た。PC 法で観察された左心房内渦流はシミュレーションで得られた渦流は視覚的に一致していた。正常心6例に対し設定断面での計測を行った結果、4例で左心房内渦流が観察され

たが、2例では観察されなかった。観察されなかった群の1例に対して装置を変えて再検査を行ったところ、左心房内に渦流を認めた。観察された左心房内渦流はシミュレーションと同じ挙動を示した。観察されなかった例では、左心房内での速度標準偏差が観察された群に比べて大きい傾向を示した。

【結 論】

本研究にて作成した左心房シミュレーションモデルは左心房内における血流評価において有用であると判断した。今後、本モデルを定量評価できるように改良し、異常心の症例を蓄積することで、正常心と異常心における左心房の力学構造的変化の相違を解明できるものとして期待される。左心房内渦流を計測する断面としては、①左心房の中心付近を含み、②少なくとも1本の肺静脈を含み、③僧帽弁を含む断面が望ましいと考えられた。また体動アーチファクトが検査の質に影響を与えることが判明し、左心房内における速度標準偏差分布を利用することでその影響を評価することが可能であった。2次元断面設定に基づく撮像検査法は、撮像時間が数分で済むために患者負担は軽度であり、十分に実用的な検査法である。今後、渦流と心疾患との関連性を解明する上で役立つものと期待される。

審 査 結 果 の 要 旨

左心房内渦流に関しては、正常心において観察された報告はあるものの、その臨床的意義はまだ明らかではない。本研究では、左心房内血流シミュレーションモデルを用いて、正常心における左心房内渦流の挙動を明らかにした。同時に正常心における左心房内渦流を計測するための断面を設定した。このようなアプローチは異常心における左心房内渦流を正常心と比較するための基礎研究となっている。

本研究の1つ目の柱として、数値流体力学を用いた左心房内血流シミュレーションモデルの作成が挙げられる。循環器領域における数値流体力学を用いた血流シミュレーションモデルの作成はこれまでも大動脈や左心室において多く報告されているが、左心房に絞ったモデルはこれまでに存在せず、新しい試みとなっている。シミュレーションモデルを用いれば任意の断面での渦流観察が可能であり、既存の画像診断装置では得られない渦流情報を示すことができる。また本シミュレーションモデルでは、左心耳において壁せん断応力が低いことや渦流を形成する流れとの交通が少ないことも示されており、左心耳内血栓形成に関する興味深い知見が得られている。今後のシミュレーションモデルを用いた臨床生理学的アプローチの可能性が示唆される。

2つ目の柱として、MRIにて簡便に左心房内渦流を観察するための計測断面が設定可能であることが挙げられる。Phase contrast 法を用いた血流速度計測では、速度のXYZ方向成分をそれぞれに計測する必要がある。しかし、空間的に狭いMRI検査装置で長時間検査を行うことは患者にとって苦痛を与えることになる。また0～0.7 m/sec程度の心房内血流を計測する際に体動アーチファクトの誤差に対する影響は大きい。シミュレーションモデルを利用し、正常心における左心房内渦流を反映する代表的一断面に絞ったことは患者負担を軽減し、計測精度の向上にもつながる。今回、健常ボランティアを対象に断面設定の検証を行い、その妥当性を検証している。また得られた検査の質を反映する指標として今回新たに血流速度標準偏差分布図を提唱している。この指標を用いることで左心房内渦流が実際に存在しなかったのか、それともアーチファクトのために観察されなかったのかの相違を明らかにすることができる。今後、異常心を定量診断する上で役立つ指標と考えられる。

以上、本論文では新たに数値流体力学を用いた左心房内血流シミュレーションモデルを作成し、そのデータを基に簡便に左心房内渦流を観察する方法を考案し検証を行っている。今後の循環器領域での新しい潮流を導く手法を提示しており、学位に値するものと思われる。

よって、本論文は博士（医学）の学位論文として合格と認める。